

ИЗУЧЕНИЕ ВАРИАЦИЙ СОЛНЕЧНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПАКТНЫХ МАГНИТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ВОДОРОДНЫХ $H\alpha$ ВОЛОКОН

Д.Р.ДЖАПАРИДЗЕ, Б.Б.ЧАРГЕЙШВИЛИ

Поступила 11 апреля 2016

Принята к печати 22 июня 2016

Используя данные компактных магнитных образований и водородных $H\alpha$ волокон для циклов солнечной активности 20 и 21 были изучены вариации солнечного дифференциального вращения. Получено, что разница в скоростях дифференциального вращения компактных магнитных образований и водородных $H\alpha$ волокон максимальная между широтными зонами 20° - 30° и 30° - 40° для обоих полушарий Солнца. Скорости вращения компактных магнитных образований на всех широтах выше скоростей вращения водородных $H\alpha$ волокон и различие между ними растет с ростом широты.

Ключевые слова: *Вращение Солнца; водородные $H\alpha$ волокна; компактные магнитные образования*

1. *Введение.* Изучение дифференциального вращения различных образований солнечной атмосферы и магнитного поля дает информацию о механизме солнечной активности.

Для изучения дифференциального вращения Солнца разными авторами в качестве трассеров были использованы солнечные пятна [1-2], факелы [3], водородные волокна [4-11], корональные дыры [12-14]. Другой класс образований для изучения солнечного дифференциального вращения Солнца - магнитные образования общего магнитного поля Солнца [15-23].

2. *Используемые данные.* Для изучения различий в скоростях дифференциального вращения различных образований Солнца мы сравнили скорости вращения компактных магнитных образований с отрицательной и положительной полярностями со скоростями вращения водородных $H\alpha$ волокон для циклов солнечной активности 20 и 21.

Используя синоптические карты атласа Макинтоша [16], нами визуально были выбраны симметрические структурные формирования из многочисленных магнитных данных. Для 335 компактных магнитных образований было выполнено 1675 измерений для указанных двух циклов. Мы получили среднегодовые значения угловых скоростей компактных магнитных образований для последовательных 10° -х интервалов от 60° N к 60° S

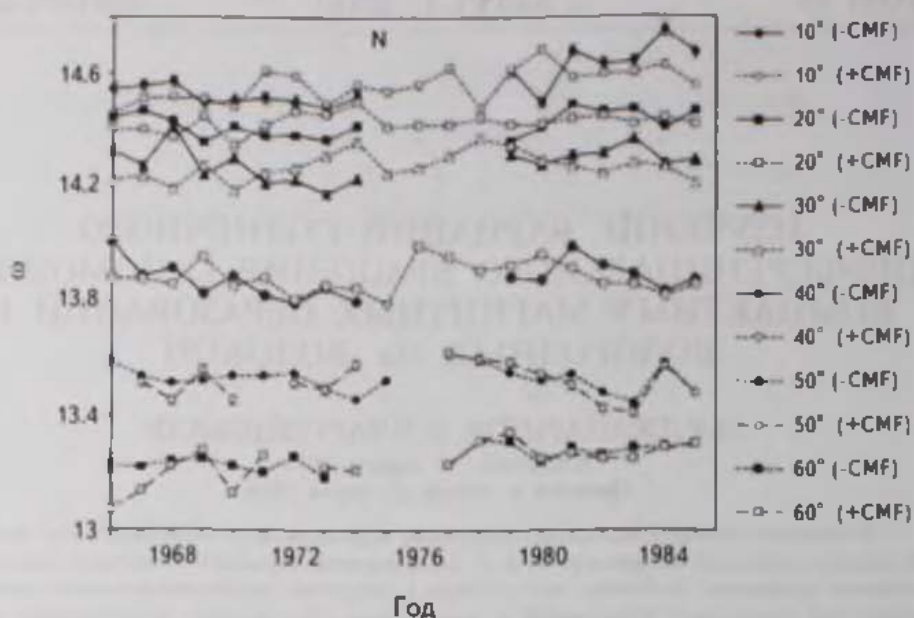


Рис.1. Временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями для северного полушария Солнца. С правой стороны обозначены соответствующие индексы для 10°-х зон скоростей вращения компактных магнитных образований соответственно с отрицательными и положительными полярностями ($\pm$ CMF).

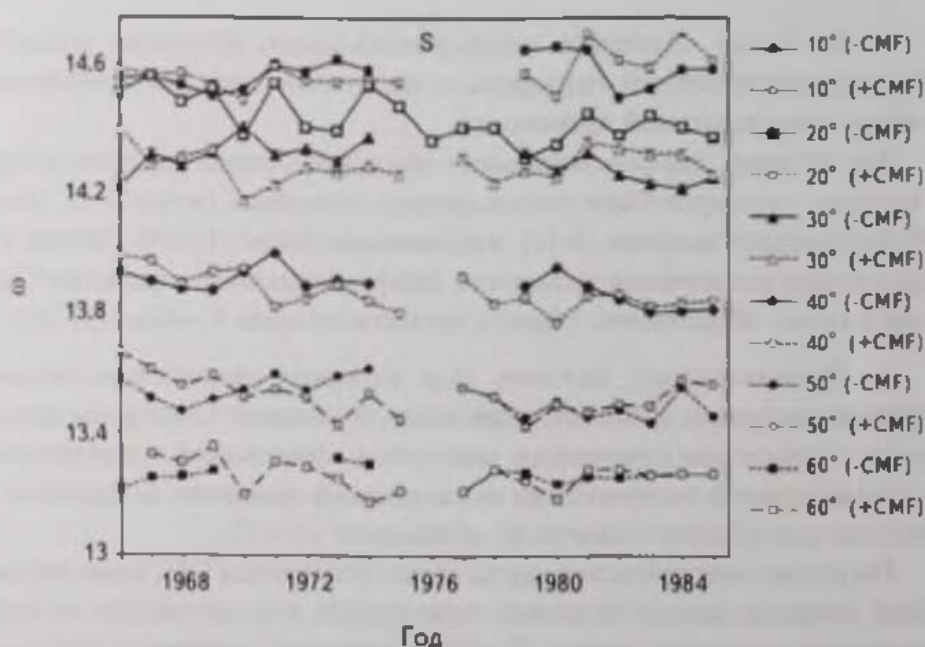


Рис.2. Временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями для южного полушария. С правой стороны обозначены соответствующие индексы для 10°-х зон скоростей вращения компактных магнитных образований соответственно с отрицательными и положительными полярностями ($\pm$ CMF).

отдельно для северного и южного полушарий.

Временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями для циклов

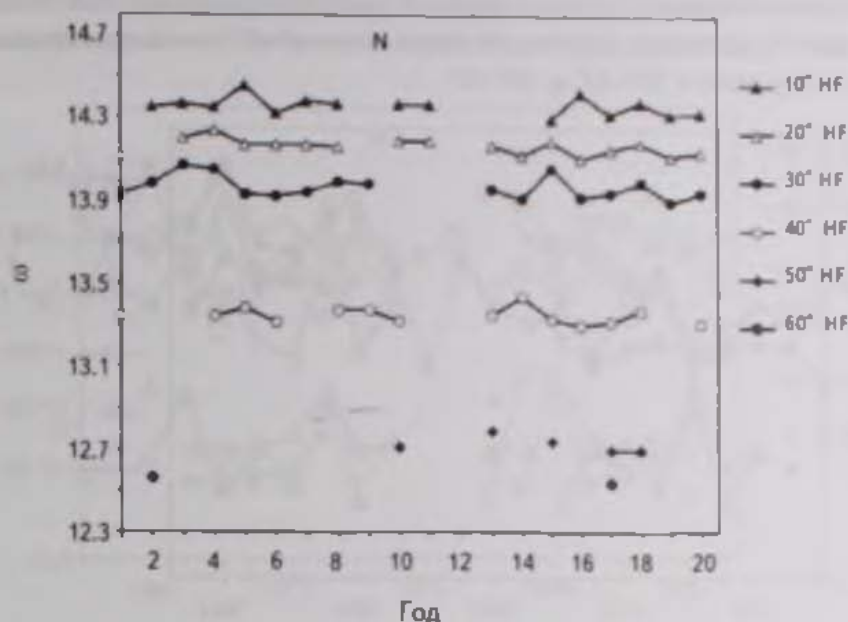


Рис.3. Временные изменения скоростей вращения водородных H α волокон для северного полушария. С правой стороны обозначены соответствующие индексы для 10°-х зон скоростей вращения водородных волокон (HF).

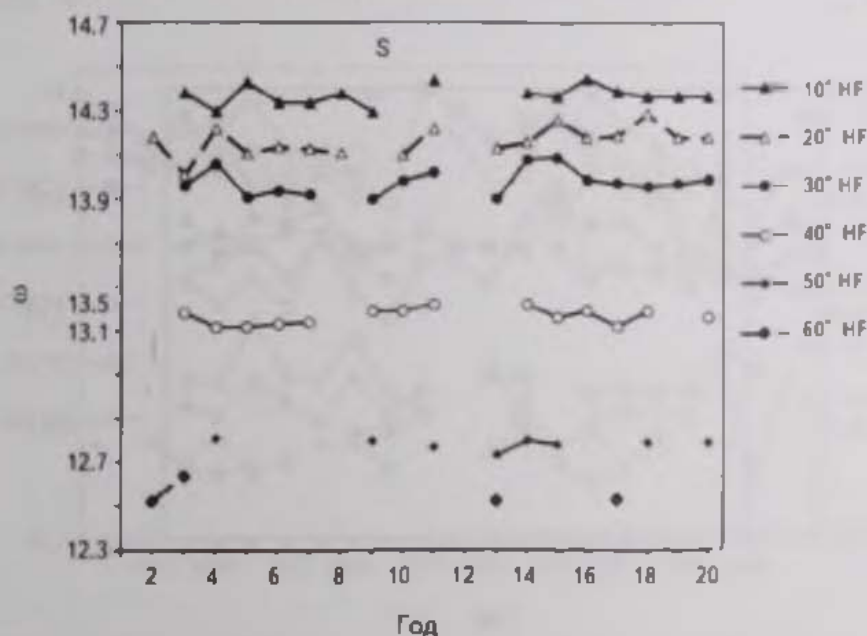


Рис.4. Временные изменения скоростей вращения водородных H α волокон для южного полушария. С правой стороны обозначены соответствующие индексы для 10°-х зон скоростей вращения водородных волокон (HF).

солнечной активности 20 и 21 приведены на рис.1 и 2.

Из рис.1 и 2 видно, что для исследованного периода разница в скоростях дифференциального вращения компактных магнитных образований как с отрицательными, так и с положительными полярностями между соседними 10° -ми зонами широты для обоих полушарий Солнца максимальна в интервалах широт 20° - 30° и 30° - 40° .

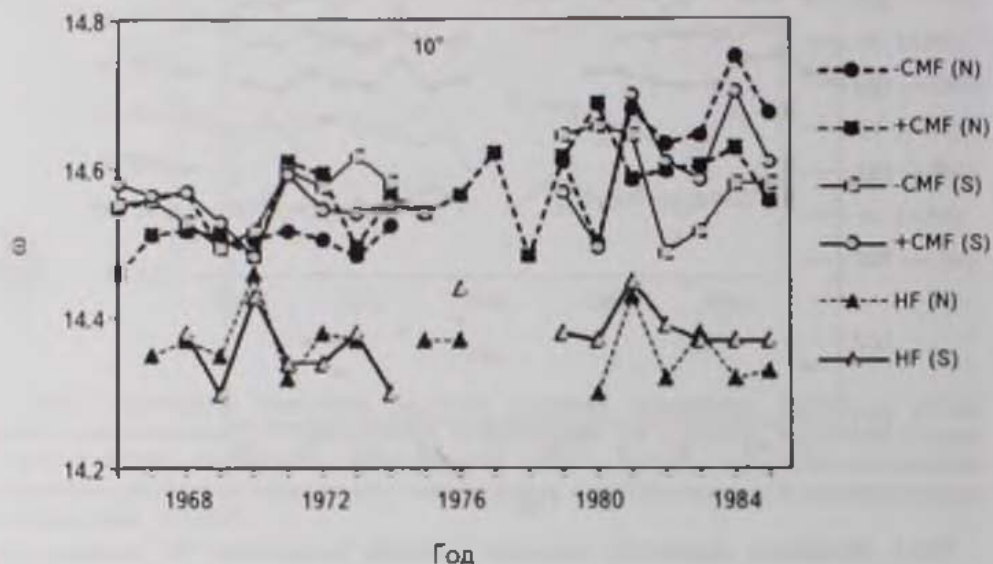


Рис.5. Временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями и водородных $H\alpha$ волокон на широте 10° .

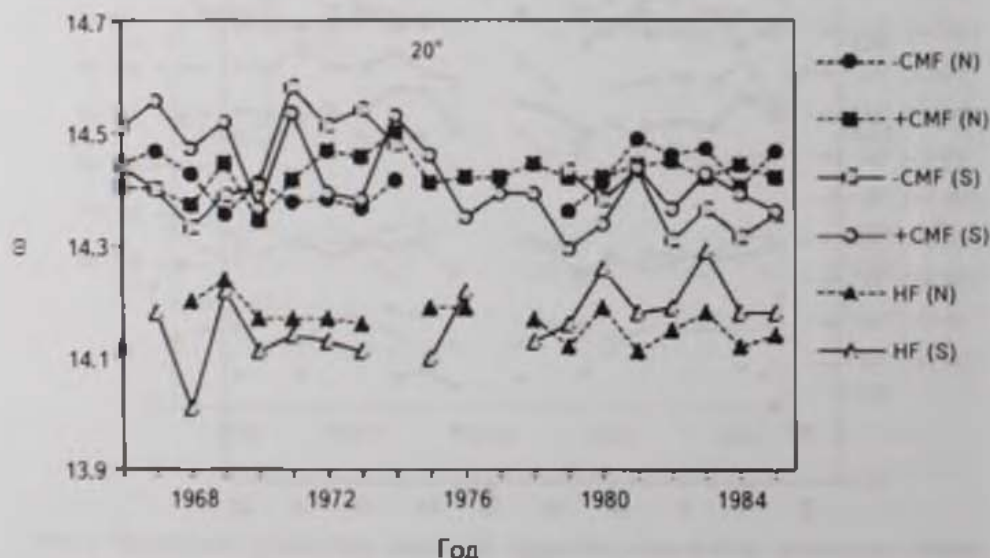


Рис.6. Временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями и водородных $H\alpha$ волокон на широте 20° .

Для исследования солнечного дифференциального вращения были отобраны относительно устойчивые H α волокна (из коллекции H α спектрогелиограмм Абастуманской астрофизической обсерватории), которые значительно не меняли форму и их отдельные фрагменты могли быть идентифицированы. Выбранные нами спокойные волокна существовали

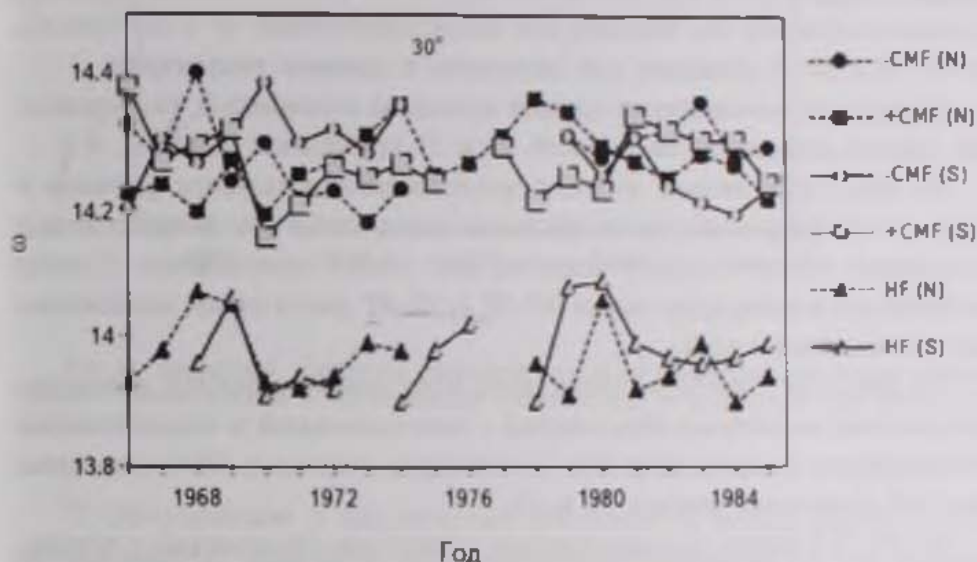


Рис.7. Временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями и водородных H α волокон на широте 30°.

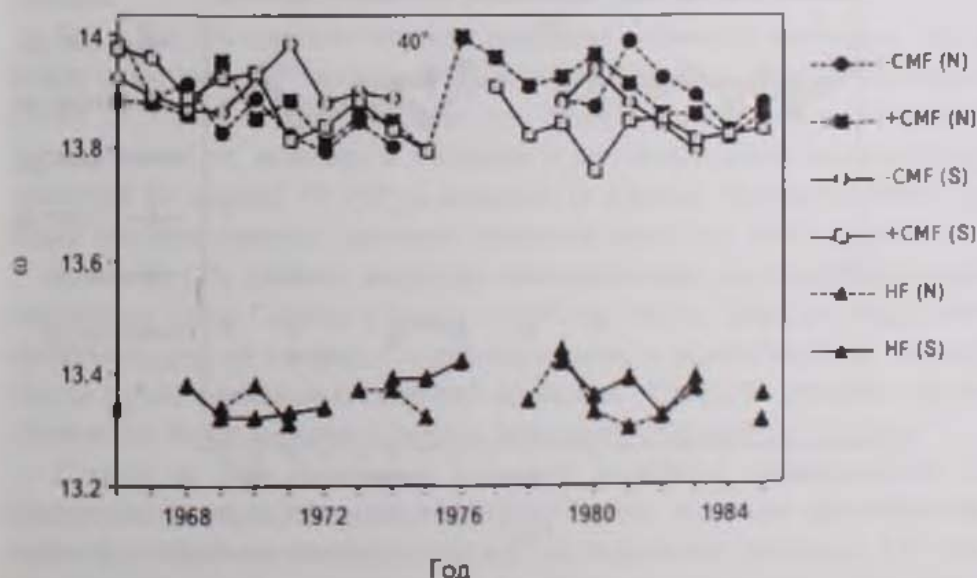


Рис.8. Временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями и водородных H α волокон на широте 40°.

более 3-х дней и непосредственно не были связаны с активными областями. Скорости вращения были вычислены для каждой пары последовательных дней наблюдения за время жизни каждого волокна. Измерялись отдельные фрагменты волокна, уверенно отождествляемые изо дня в день [22]. Для солнечных циклов 20 и 21 мы выбрали 261 спокойное волокно и провели приблизительно 11500 измерений. Мы получили среднегодовые значения угловых скоростей Ω на волокна для последовательных 10° -х интервалов от 60° N к 60° S отдельно для северного и южного полушарий.

Временные изменения скоростей вращения водородных $\text{H}\alpha$ волокон для циклов солнечной активности 20 и 21 приведены на рис.3, 4.

Из рис.3 и 4 видно, что для исследованного периода разница в скоростях дифференциального вращения водородных $\text{H}\alpha$ волокон между соседними 10° -ми зонами широты для обоих полушариев Солнца максимална в интервалах широт 20° - 30° и 30° - 40° (как в случае компактных магнитных образований).

На рис.5-10 приведены временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями и водородных $\text{H}\alpha$ волокон для отдельных 10° -х широтных зон для солнечных циклов 20 и 21.

Из рис.3-8 видно, что компактные магнитные образования с отрицательными и положительными полярностями на всех широтах имеют более высокую скорость вращения, чем водородные $\text{H}\alpha$ волокна, при этом разница в скоростях вращения увеличивается с ростом широты.

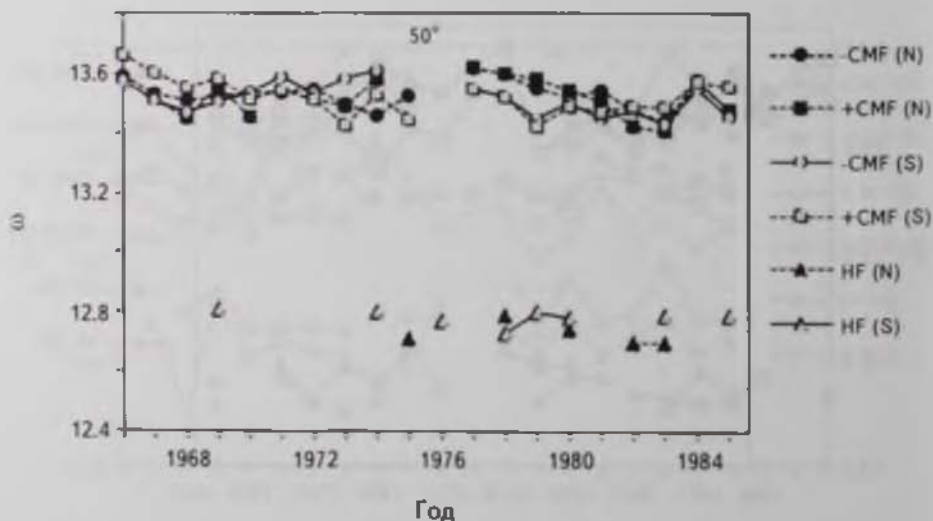


Рис.9. Временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями и водородных $\text{H}\alpha$ волокон на широте 50° .

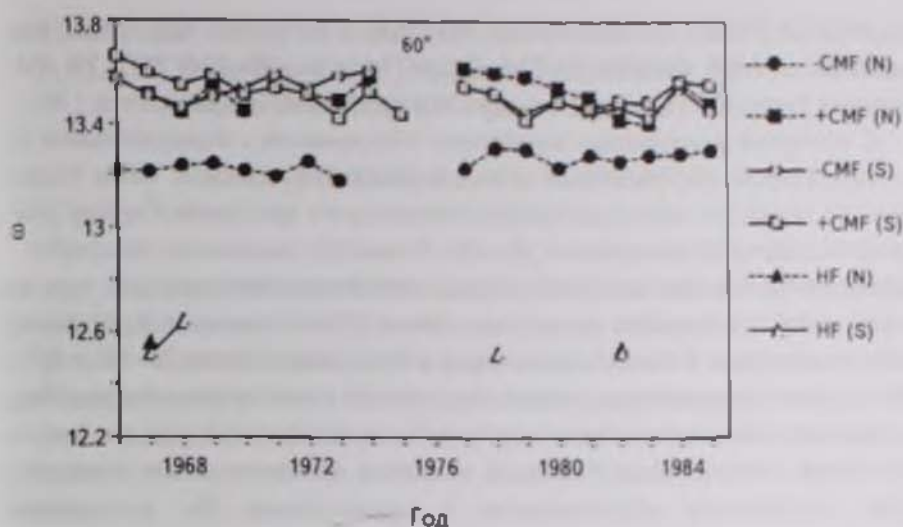


Рис.10. Временные изменения скоростей вращения компактных магнитных образований с положительной и отрицательной полярностями и водородных $H\alpha$ волокон на широте 60° .

3. Обсуждение и заключение. Несмотря на исследования многих исследователей, солнечное дифференциальное вращение все еще остается необъясненным явлением. Полученные результаты скоростей вращения отличаются для разных солнечных формирований, поэтому важно использование однородных данных, полученных в течение довольно длительного периода.

Shi и Xie [24] изучили скорости вращения солнечных магнитных полей между широтами $\pm 60^\circ$, используя синоптические карты солнечных магнитных полей 1975–2012 гг. Было найдено, что сидерические скорости вращения уменьшаются от экватора к полюсам и достигают своих минимальных значений на широте 53° (54°) в северном (в южном) полушарии, затем на более высоких широтах значения скоростей вращения увеличиваются.

Javaraiah [25] сравнил вариации экваториальных скоростей вращения различных слоев Солнца и групп солнечных пятен. Было получено, что солнечная корона и группы солнечных пятен в экваториальной области имеют почти одинаковые скорости вращения. Скорость вращения групп солнечных пятен меньше скорости вращения поверхности Солнца.

Chu et al. [26] вычислили скорости вращения положительных и отрицательных областей магнитного поля Солнца, используя синоптические карты фотосферных магнитных полей для широтного интервала $\pm 35^\circ$ для циклов солнечной активности 21–23. Различие в скоростях вращения между положительными и отрицательными областями около экватора очень мало и увеличивается с ростом широты. Для широт 5° – 20° это

различие достигает 0.05 град/сутки. Различие в скоростях вращения для цикла солнечной активности 22 меньше, чем для циклов 21 и 23. На широтах выше 20° различие в скоростях вращения уменьшается [26].

С помощью компактных магнитных образований с отрицательной и положительной полярностями и водородных $H\alpha$ волокон нами были изучены вариации скоростей дифференциального вращения Солнца для циклов солнечной активности 20 и 21. Разница в скоростях дифференциального вращения как компактных магнитных образований, так и водородных $H\alpha$ волокон между соседними 10°-ми зонами широты для обоих полушарий Солнца максимальна в интервалах широт 20°-30° и 30°-40°. Скорости вращения водородных $H\alpha$ волокон ниже скоростей вращения компактных магнитных образований как с отрицательной, так и с положительной полярностями. Разница в скоростях вращения между компактными магнитными образованиями и водородными $H\alpha$ волокнами увеличивается с ростом широты. Поскольку компактные магнитные образования берут свое начало глубоко под фотосферой и вертикально пронизывая хромосферу они являются носителями скорости более глубоких слоев, чем хромосфера. Тем временем наибольшая часть $H\alpha$ волокна горизонтально нависает над фотосферой и вероятнее всего должна иметь скорость близкую со скоростью хромосферы. Это и определяет тот факт, что скорости вращения водородных $H\alpha$ волокон ниже скоростей вращения компактных магнитных образований. А то интересное явление, что разница в скоростях вращения между компактными магнитными образованиями и водородными $H\alpha$ волокнами увеличивается с ростом широты, по нашему мнению, является чисто наблюдательным эффектом. Удаляясь от центра диска к высоким широтам, оптическая толщина равная единице соответствует более высоким слоям атмосферы Солнца. Таким образом, в случае компактных магнитных образований на высоких широтах мы наблюдаем более верхнюю часть образования, которая вращаясь с той же угловой скоростью, что и его нижняя часть, проектирует преувеличенное передвижение на диске с радиусом, соответствующим расчетам для центра. Поскольку $H\alpha$ волокна имеют преимущественно горизонтальное расположение, для них глубинный эффект, приведенный для компактных магнитных образований, не существен и это вызывает наблюдательное увеличение разницы в скоростях вращения между компактными магнитными образованиями и $H\alpha$ волокнами.

STUDY OF THE SOLAR DIFFERENTIAL ROTATION VARIATIONS BY COMPACT MAGNETIC FEATURES AND HYDROGEN H α FILAMENTS

D.R.JAPARIDZE, B.B.CHARGEJSHVILI

The variations of solar differential rotation have been studied using data on compact magnetic features and hydrogen H α filaments for solar activity cycles 20 and 21. It is revealed that the difference in the differential rotation rates of compact magnetic features and hydrogen H α filaments is maximum for the latitudinal zones 20°-30° and 30°-40° for both solar hemispheres. Rotation rates of compact magnetic features are higher than rotation rates of hydrogen H α filaments at all latitudes and distinction between them grows with growth of latitudes.

Key words: *Solar rotation, hydrogen H α filaments, compact magnetic features*

ЛИТЕРАТУРА

1. H.W.Newton, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **95**, 60, 1934.
2. I.P.Beljan, R.Jurdana-Sepić, M.Čargonja et al., Central European Astrophys. Bull., **38**, 87, 2014.
3. A.M.Newbegin, H.W.Newton, The Observatory, **54**, 20, 1931.
4. M.D'azambuja, L.D'Azambuja, Ann. Obs. Paris, **6**, 1-278, 1948.
5. D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, Solar Phys., **141**, 267, 1992.
6. M.Sh.Gigolashvili, D.R.Japaridze, A.D.Pataraya, T.V.Zaqarashvili, Solar Phys., **156**, 221, 1995.
7. M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, T.G.Mdzinarishvili et al., Adv. Space Res., **40**, 976, 2007.
8. M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze, Solar Phys., **231**, 23, 2005.
9. M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze, Sci. Bord., **2**, 136, 2005.
10. М.Ш.Гиголашвили, Д.Р.Джанапидзе, Т.Г.Мдзинарिशвили, Астрофизика, **54**, 653, 2011, (Astrophysics, **54**, 593, 2011).
11. M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, T.G.Mdzinarishvili, Advances in Space Research, **52**, 2122, 2013.
12. O.G.Badalyan, J.Sykora, Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso, **35**, 180, 2005.
13. K.M.Hiremath, M.Hegde, Astrophys. J., 763, 2013.
14. Д.Р.Джанапидзе, С.П.Багашвили, Б.М.Шергелашвили, Б.Б.Чаргейшвили, Астрофизика, **58**, 609, 2015, (Astrophysics, **58**, 575, 2015).
15. M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze, Solar Phys., **282**, 51, 2013.

16. *P.S.McIntosh, E.C.Willock, R.J.Thompson*, Atlas of Stackplots, National Geophysical data center, USA, 1991.
17. *C.J.Durrant, J.Turner, P.R.Wilson*, Solar Phys., **211**, 103, 2002.
18. *М.Ш.Гуголашвили, Д.Р.Джапаридзе, Б.Б.Чаргейшвили*, Астрофизика, **57**, 319, 2014, (Astrophysics, **57**, 296, 2014).
19. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze*, Sci. Bord., **2**, 136, 2005/2006.
20. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Solar Phys., **282**, 51, 2013.
21. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Sun and Geosph., **1**, 31, 2006.
22. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Adv. Space Res., **40**, 1912, 2007.
23. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, Solar Phys., **255**, 203, 2009.
24. *X.J.Shi, J.L.Xie*, Astrophys. J. Lett., **773**, 1, 6, 2013.
25. *J.Javaraiiah*, Solar Phys., **287**, 197, 2013.
26. *Z.Chu, J.Zhang, Q.X.Nie, T.Li*, Solar Phys., **264**, 1, 2010.